УДК 004.93

В.Г. Шерстюк, М.В. Жарикова
Херсонский национальный технический университет, Украина
Бериславское шоссе, 24, г. Херсон, 73008

ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

V.G. Sherstyuk, M.V. Zharikova
Kherson National Technical University, Ukraine
24, Berislavske hwy, Kherson, 73008

THE HYBRID METHOD FOR INTELLECTUAL DIAGNOSIS OF DESTRUCTIVE PROCESSES

В работе представлен метод автоматической диагностики для идентификации ситуации в системе поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций на основе беспилотных летательных аппаратов, дистанционного зондирования и технологий обработки изображений. Метод позволяет идентифицировать проблему с использованием диагностических критериев, получаемых в ходе мониторинга, и классифицировать ситуацию для соответствующего реагирования на нее. Метод является гибридным, так как он позволяет находить решение с использованием прецедентного подхода, но осуществлять дискриминацию с помощью подхода, основанного на правилах. Комбинация диагностического метода с методами дистанционного зондирования и размытой модели распространения чрезвычайных ситуаций позволяет обеспечить требуемую надежность и эффективность прогнозирования и реагирования на чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: борьба с лесными пожарами, интеллектуальный метод диагностики, симптомы, ситуация, основание корпуса, база правил

The method of automatic diagnosis for identification of the situation in decision support system used in disaster management based on unmanned aerial vehicles, remote sensing, and image processing is proposed in the paper. The method allows identifying the problem using the criteria obtained through monitoring, and classifying the situation for further respond. The method is hybrid as it enables to find a solution using case-based approach but perform discrimination using rule-based approach. The combination of the diagnostic method with the methods of remote sensing and approximate model of disaster behavior provides required credibility and efficiency of disaster prediction and response.

Keywords: forest fire fighting, intelligent diagnosis method, symptoms, situation, case base, rule base

Введение

Последнее время наблюдается рост числа чрезвычайных ситуаций природного характера (ЧСПХ) и их негативного влияния, что связано с ростом численности населения, урбанизацией, деградацией природной среды, глобальным изменением климата и т.д. Это вызывает необходимость создания систем поддержки принятия решений (СППР) в условиях чрезвычайных ситуаций, функционирующих в реальном времени. Неотъемлемой частью таких СППР является онлайн-мониторинг, направленный на получение параметров, связанных с распространением ЧСПХ. Соответствующие параметры генерируются с помощью технологий дистанционного зондирования и представляют собой потоки данных значительных объемов, поступающих от сенсоров непрерывно и с высокой скоростью. Для рассматриваемого класса систем основной задачей принятия решений является диагностика ситуации на основе набора таких параметров, которая состоит в соотнесении полученных данных с определенной категорией, или классом ситуаций, с целью последующего реагирования [1].

Постановка проблемы

Одним из самых распространенных классов ЧСПХ являются лесные пожары. В статье предлагается гибридный метод диагностики ситуации в СППР при тушении лесных пожаров на основе беспилотных летательных аппаратов (БЛА), дистанционного зондирования и технологий обработки изображений.

Анализ последних достижений и публикаций

Проблема диагностики в системах

поддержки принятия решений в условиях ЧСПХ рассматривалась в работах многих авторов. В [2] авторы определяют диагностику как некий процесс, позволяющий идентифицировать проблему с помощью анализа симптомов (данных наблюдений или оценок, полученных в процессе мониторинга).

Существует несколько основных подходов к разработке системы диагностики. Одним из них является основанный на моделях подход, который используется в тех редких случаях, когда может быть построена полная и адекватная модель системы [3, 4], что в большинстве практических задач не представляется возможным.

С использованием подхода, основанного на эвристических знаниях, воссоздается система рассуждений экспертов [5, 6]. Известные системы, основанные на знаниях, имеют существенные ограничения, такие как невозможность воссоздания креативного хода мышления экспертов в необычных обстоятельствах и адаптации к изменениям окружающей среды.

Более «узким» подходом к построению систем диагностики является экспертный подход, аккумулирующий знания специалистов в конкретных предметных областях [7, 8]. Построение систем диагностики, основанных на экспертном подходе, является трудоемким и достаточно дорогостоящим процессом инженерии знаний [9, 10], так как, с одной стороны, эксперты не всегда способны объяснить свою логику таким образом, чтобы ее можно было запрограммировать, а с другой стороны, разные эксперты часто имеют различное понимание одной и той же проблемы.

Прецедентный подход, основанный на использовании репозитория существующих решений (прецедентов), позволяет обойти проблему представления знаний экспертов. При возникновении задачи диагностики, прецедентная система выполняет идентификацию сценария по существующим прецедентам. В отличие от экспертной системы, где знания представлены экспертами в явной форме как эвристические правила, в прецедентной системе знания представлены неявно [11].

Другой современный подход состоит в создании обучающихся систем [12]. Существует несколько технологий обучения, активно используемых в подобных системах: нейронные сети [13], генетические алгоритмы [14], символьный искусственный интеллект [15], статистическое распознавание образов, эволюционные вычисления [16].

ЧСПХ, являющиеся предметом рассмотрения данной статьи, являются процессами с непредсказуемым поведением, моделировать и прогнозировать которые весьма сложно. Этот факт исключает самостоятельное использование таких подходов, как инженерия знаний, а также подходов, основанных на моделях или правилах. Наиболее адекватным рассматриваемому классу систем является прецедентный подход, но его реализация зависит от объема базы существующих прецедентов. Сверхбольшой объем базы приводит к высокой вычислительной сложности, а недостаточный объем не обеспечивает покрытия всего множества возможных ситуаций во время классификации. Обучающиеся системы являются нелинейными, они способны выполнять классификацию ситуаций даже в условиях неопределенности, но они не обеспечивают надежность, достаточную для лица, принимающего решения (ЛПР).

Таким образом, учитывая факт, что ни один из вышеперечисленных подходов к диагностике не может быть использован самостоятельно, автоматическая диагностика ситуации на основе наблюдений, полученных в ходе мониторинга, требует разработки некоторого гибридного метода. Предлагается разработка метода диагностики, основанного на комбинации прецедентного подхода и подхода, основанного на правилах, что позволит обеспечить уменьшение объема базы прецедентов.

Цель исследования

Интеграция БЛА с технологиями дистанционного зондирования позволяет осуществлять поддержку принятия своевременных решений для проведения операций, связанных с пожаротушением. СППР для тушения лесных пожаров позволяет выявлять места возгораний и осуществлять онлайн мониторинг пожаров. В ходе мониторинга система предоставляет ЛПР оценки таких параметров, как расположение фронта пожара, длина (высота) пламени, а также скорость распространения. Однако, в реальных условиях ЛПР необходима информация о ценных объектах, наиболее подверженных воздействию пожара и требующих первоочередной защиты.

Таким образом, целью данной статьи является разработка метода автоматической диагностики для идентификации ситуации в СППР при тушении лесных пожаров на основе беспилотных летательных аппаратов, дистанционного зондирования и технологий обработки изображений. Авторы предлагают гибридный метод, объединяющий прецедентный подход и подход, основанный на правилах.

Архитектура системы

В момент возникновения рисков для ценных объектов в условиях пожара для ЛПР создается проблемная ситуация, которая требует диагностики с целью принятия адекватных решений относительно минимизации этих рисков. Для диагностики ситуации необходимо выделить участки местности, которые содержат ценные объекты, имеющие оценку ценности выше определенного критического уровня, с которым связан максимальный риск.

Место диагностики в системе поддержки принятия решений представлено на рис. 1.

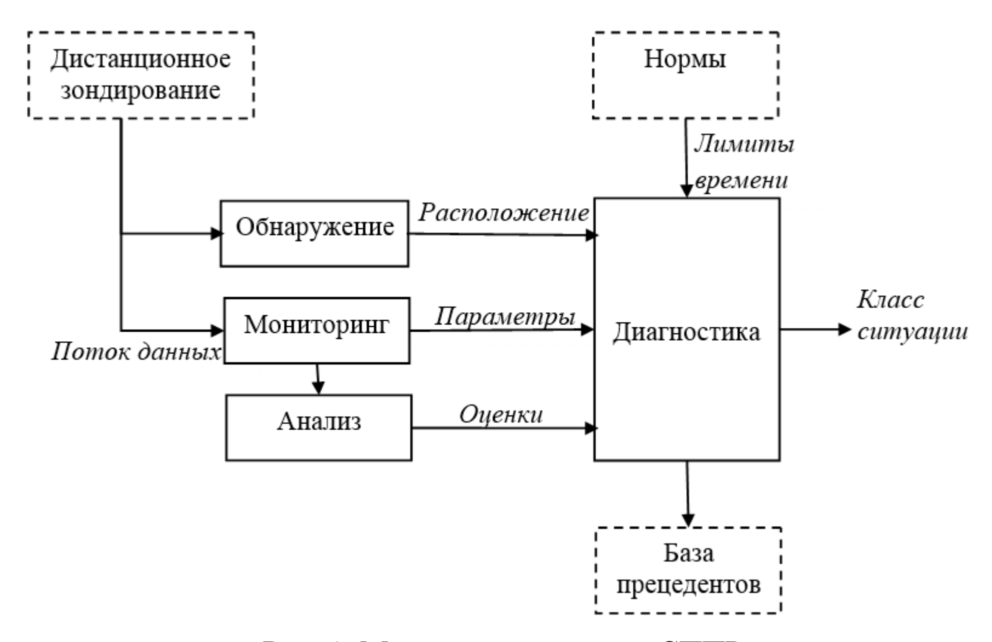


Рис. 1. Место диагностики в СППР

Подсистема диагностики соотносит входной набор данных (симптомов) определенной категории (классу) ситуаций. Другими словами, в подсистему диагностики поступают такие симптомы, как расположение ценных объектов; пространственная область, занятая пожаром; наблюдаемые параметры – пожар, в том числе скорость распространения; оценки, полученные в результате анализа риска.

Гибридный метод диагностики ситуации

Пусть $S = \{s_1, s_2, \dots s_n\}$ – множество

классов возможных ситуаций, p_i, $i=(1,n)$ – вероятности их возникновения, а $X=\{x_1,x_2,...x_m\}$ – множество диагностических критериев, соответствующих ситуациям из множества s. Пусть s^* – текущая ситуация, а x^* – вектор диагностических критериев для нее. Очевидно, что в результате недостаточной наблюдаемости окружающей среды некоторые диагностические критерии из x^* могут быть недостаточно хорошо известны или неточны. Предположим, что диагностический критерий $x_j \in X$, $j=(1,m)$, имеет значение (или интервал значений) из определенного множества $E_j \cup e_*$, $j=(1,m)$, где e_* – значение неопределенности. Тогда диагностические критерии из x^* могут быть описаны с помощью интервального значения с использованием нечетких или приближенных множеств, или даже иметь пустое значение e_*.

Каждый класс из множества возможных ситуаций $\grave{e}=\{\grave{e}_0,\grave{e}_1,...\grave{e}_n\}$ следует рассматривать как прецедент, который должен быть описан в базе прецедентов.

С целью определения класса ситуации введена функция идентификации $\iota_{\S}:\mathrm{X}^*\to\grave{e}^*$, что позволяет установить класс ситуации. Алгоритм установления класса ситуации состоит из следующих шагов.

1. Вычисление расстояний $\{L_1,...L_2,...,L_n\}$ между текущей ситуацией s^* и классами ситуаций $\grave{e}=\{\grave{e}_0,\grave{e}_1,...\grave{e}_n\}$:

$$L_i\left(s^*,\grave{e}_i\right)=\sqrt{\sum_{j=1}^{m} l_j^2\left(R_j^*,R_j\right)},$$

где $l_j\left(X_j^*,\mathrm{X}_j\right)$ – расстояние между j-м симптомом текущей ситуации X_j^* и j-м симптомом X_j прецедента $\grave{e}_i$.

2. Поиск минимального расстояния между текущей ситуацией и классами ситуаций $\grave{e}=\{\grave{e}_0,\grave{e}_1,...\grave{e}_n\}$:

$$\alpha=\min_{i=(1,n)}\left(L_i\left(s^*,\grave{e}_i\right)\right).$$

Если $\alpha=0$, это значит, что достигнуто совпадение текущей ситуации с одним из прецедентов:

$$\grave{e}^*=\grave{e}_i\left|L_i\left(s^*,\grave{e}_i\right)=0\right..$$

Далее предлагается произвести ранжирование всех ситуаций, которые принадлежат $\grave{e}_i\in\grave{e}'^*, i=1,...,n$ в соответствии с их интегральными оценками риска $R_{\Omega i}$ и выбрать подмножества наиболее критических классов ситуаций $\grave{e}''^*$ из множества $\grave{e}'^*$:

$$\grave{e}''^*\in\grave{e}'^*\left|\forall\left(\grave{e}_i\in\grave{e}''^*\right)\left(R_{\Omega i}=\max_{j=\left(1,\left|\grave{e}'^*\right|\right)}\left(R_{\Omega j}\right)\right)\right..$$

4. С помощью ранжирования классов ситуаций из множества $\grave{e}''^*$, которое получено на предыдущем шаге, с использованием возможностей их возникновения p_i, получаем наиболее возможную ситуацию:

$$\grave{e}_i^*\in\grave{e}''^*\left|p_i=\max_{j=\left(1,\left|\grave{e}''^*\right|\right)}\left(p_j\right)\right..$$

Представленный алгоритм позволяет соотнести текущую ситуацию с классом наиболее возможных из наиболее критических ситуаций на основе симптомов X^*.

База прецедентов неявно представляет диагностические знания, как показано на рис. 2.

Известные классы возможных ситуаций хранятся в базе прецедентов и используются для решения задачи диагностики с использованием описанного выше алгоритма.

Реализация метода диагностики

Предложенный метод реализован в СППР для тушения лесных пожаров.

База прецедентов представляет диагностические знания.

Известные классы возможных ситуаций хранятся в базе прецедентов и используются для диагностики с использованием предложенного алгоритма.

Структура прецедента включает описание текущей ситуации и соответствующий вектор диагностических критериев.

Построим некоторую метрику ξ_T на

шкале времени T, такую, что для каждого момента времени $t_i, t_j, t_k \in T$ справедливо:

а) $\xi_T\left(t_i, t_j\right) = 0 \iff t_i = t_j$;

б) $\xi_T\left(t_i, t_j\right) = \xi_T\left(t_j, t_i\right)$;

в) $\xi_T\left(t_i, t_k\right)$ „ $\xi_T\left(t_i, t_j\right) + \xi_T\left(t_j, t_k\right)$,

г) $\left\| t_i - t_j \right\|_T \to$ þ.

Таким образом, мы можем использовать метрику ξ_T для сравнения оценок времени. При этом, имея оценку предположительного времени t_m^* достижения фронтом пожара *m*-го участка местности, представленную в структуре прецедента, можно оценить класс опасности для каждого участка местности.

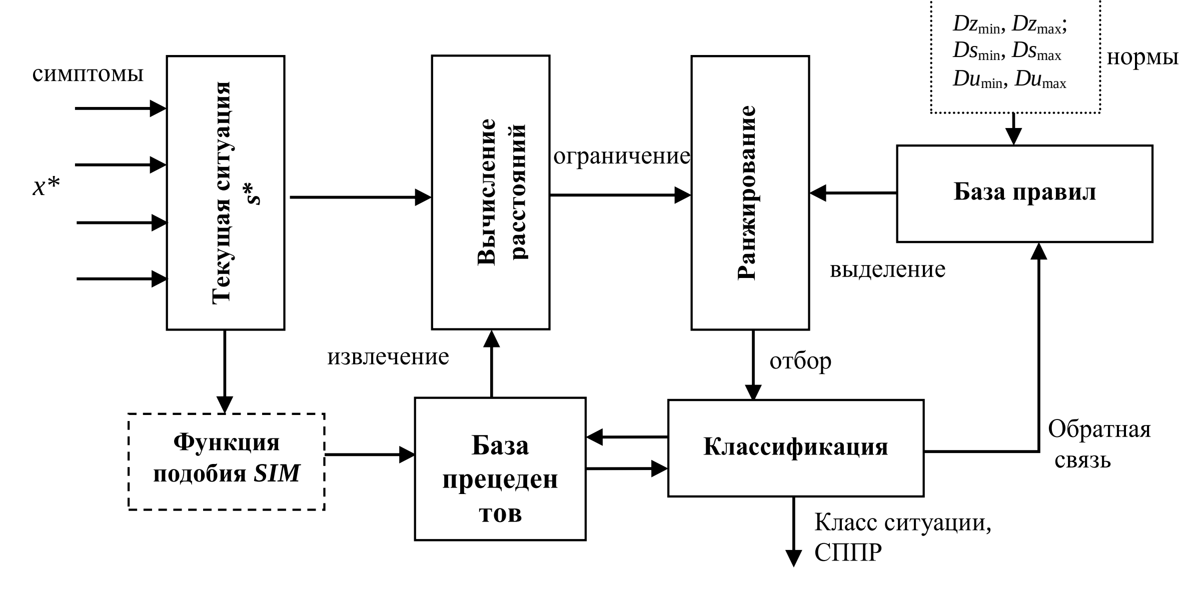


Рис. 2. Реализация гибридного метода диагностики

База правил предоставляет знания о проблемной области и временной метрике ξ_T на шкале времени T, при этом $\forall t_i, t_j \in T$, $\left\| t_i - t_j \right\|_T \to D_Z$, где $D_Z = \left\{D_{Z1}, \ldots D_{Zj}, \ldots D_{Zm}\right\}$ – множество пределов времени.

Таким образом, база правил содержит множество пределов времени D_Z, которое является необходимым для выделения классов подобных ситуаций.

С использованием норм времени можно классифицировать текущую ситуацию относительно ее временных характеристик как нормальную, критическую, опасную и т.д.

Так, будем называть ситуацию, при которой $t_m^* \geq D_{Z3}$, ситуацией критической опасности, при возникновении которой необходимо быстрое принятие решений по противодействию возникшей угрозе.

Ситуацию, при которой $D_{Z3} \geq t_m^* \geq D_{Z2}$, будем называть ситуацией повышенной опасности, требующей определенных предупредительных действий со стороны ЛПР.

Далее, будем называть ситуацию, при которой $D_{Z2} \geq t_m^* \geq D_{Z1}$, ситуацией умеренной опасности, требующей повышенного внимания ЛПР и надежного мониторинга возникающих угроз.

Далее, ситуацию, при которой $D_{Z1} \geq t_m^* \geq D_{Z0}$, будем называть ситуацией слабой опасности, не требующей особого внимания ЛПР до того момента времени, пока она не перейдет на следующий уровень опасности.

И, наконец, ситуацию, при которой $t_m^* < D_{Z0}$, будем рассматривать как неопас-

ную на момент диагностики, ее можно исключить из пространства рассмотрения ЛПР.

Таким образом, можно получить пространственное распределение опасности для различных участков местности d_m, при этом получаем:

- множество участков D^4 с критическим уровнем опасности, состоящее из всех участков местности, для которых $d_m \in D^4 \leftrightarrow t_m^* \geq \text{þ}_3$;
- множество участков D^3 с повышенным уровнем опасности, состоящее из всех участков местности, для которых $d_m \in D^3 \leftrightarrow \text{þ}_3 \geq t_m^* \geq \text{þ}_2$;
- множество участков D^2 со средним уровнем опасности, состоящее из всех участков местности, для которых $d_m \in D^2 \leftrightarrow \text{þ}_2 \geq t_m^* \geq \text{þ}_1$;
- множество слабоопасных участков D^1, состоящее из всех участков местности, для которых $d_m \in D^1 \leftrightarrow \text{þ}_1 \geq t_m^* \geq \text{þ}_0$;
- множество неопасных участков D^0, состоящее из всех участков местности, для которых $d_m \in D^0 \leftrightarrow t_m^* < \text{þ}_0$.

Таким образом, предложенный метод диагностики позволяет не только определить общий класс сложившейся ситуации, но и классифицировать участки местности по степени опасности. Это дает возможность визуализировать текущую ситуацию в виде соответствующих слоев геоинформационной системы, представляющих участки местности, относящиеся к множествам D^4, D^3, D^2, D^1 или D^0, как показано на рис. 3.

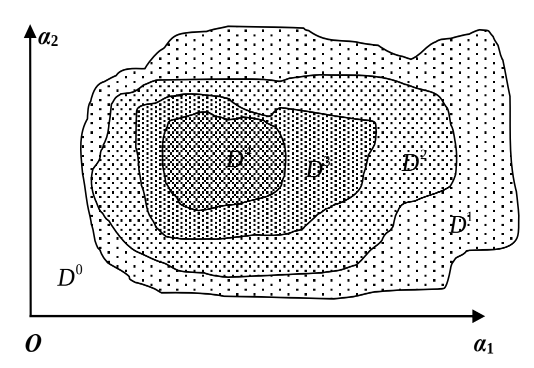


Рис. 3. Проекция участков с разными уровнями опасности

Особенность предложенного гибридного метода интеллектуальной диагностики ситуации состоит в том, что, когда база прецедентов становится слишком большой, некоторая ее часть может быть трансформирована в форму правил, что позволяет значительно уменьшить объем базы прецедентов. Для этого используется подход, согласно которому прецедентами являются точки в Декартовом пространстве симптомов, тогда как их окрестности представляют собой набор исключений и ограничений, которые представлены как правила в базе правил.

Выводы

В статье предложен гибридный интеллектуальный метод диагностики ситуации. Этот метод позволяет идентифицировать проблему с использованием диагностических критериев, получаемых в ходе мониторинга, и классифицировать ситуацию для соответствующего реагирования на нее.

Метод является гибридным, так как он позволяет находить решение с использованием прецедентного подхода, но позволяет производить дискриминацию с помощью подхода, основанного на правилах.

Предложенный алгоритм, состоящий из четырех шагов, позволяет находить класс наиболее возможных из наиболее опасных ситуаций с помощью диагностики текущей ситуации с использованием диагностических критериев.

References

1. Zharikova, M., Sherstjuk, V. (2016) Threat assessment method for intelligent disaster decision support system. *Advances in Int. Systems and Computing*, vol. 512, pp. 81–99.
2. Balakrishnan, K., Honavar, V. (1998) Intelligent Diagnosis Systems. *Journal of Intelligent Systmes*, Vol. 8. No. 3. pp. 237-290.
3. Kocka, T., Zhang, N.L. (2003) Effective Dimensions of Partially Observed Polytrees. *Proceedings of The European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty*, pp. 311-322.
4. Lucas, P.J.F. (2001) Bayesian model-based diagnosis. International. *Journal of Approximate Reasoning*, No. 27, pp. 99–119.
5. Rissino, S. (2009) Rough Set Theory–Fundamental Concepts, Principals, Data Extraction, and Applications. *Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications*, J. Ponce and A. Karahoca (Eds.), InTech Publishers. pp. 35-58.

6. Thompson, M.P. (2011) Integrated national-scale assessment of wildfire risk to human and ecological values. *Stoch. Environ. Res. Risk. Assess*. № 25. pp. 761-780.
7. Amarosicz, M., Psiuk, K., Rogala, T., Rzydzik, S. (2016) Diagnostic Shell Expert Systems. *Diagnostica*, Vol. 17, No. 1. pp. 33–40.
8. Tan, C.F., Wahidin, L.S., Khalil, S.N., Tamaldin, N., Hu, J., Rauterberg, G.W.M. (2016) The Application of Expert System: a Review of Research and Applications. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 11, No. 4. pp. 2448–2453.
9. Martinez, J. (2009) Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*. № 90. pp. 1241-1252.
10. Martinez, M.V. (2017) Knowledge Engineering for Intelligent Decision Support. *Proceeding of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-17)*. Montreal, pp. 5131–5135.
11. Rieck, C.Z., Wu, X.W., Jiang, J.C., Zhu, A.X. (2016) Case-based knowledge formalization and reasoning method for digital terrain analysis – application to extracting drainage networks. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, No. 20. pp. 3379–3392.
12. Rieck, K., Trinius, P., Willems, C., Holz, T. (2011) Automatic analysis of malware behavior using machine learning. *Journal of Computer Security*, No, 19(4). pp. 639–668.
13. Goldberg, Y.A. (2016) Primer on Neural Network Models for Natural Language Processing. *Journal of Artificial Intelligence Research*. No. 57. pp. 345–420.
14. Gong, Y., Li, J., Zhou, Y., Li, Y., Chung, H.S., Shi, Y., Zhang, J. (2016) Genetic Learning Particle Swarm Optimization. *IEEE Transactions On Cybernetics*, vol. 46, No. 10. pp. 2277–2290.
15. Hoffman, R. (2015) Origins of situation awareness: Cautionary tales from the history of concepts of attention. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, Vol. 9(1). pp. 73–83.
16. Fogel, D.B., Fogel, L.J., Porto, V.W. (1990) Evolving neural networks. *Biological Cybernetics*, Vol. 63, pp. 487-193.

RESUME

V.G. Sherstyuk, M.V. Zharikova

Hybrid method of intellectual diagnosis of destructive processes

The method of automatic diagnosis for identification of the current situation in decision support system used in disaster management based on unmanned aerial vehicles, remote sensing, and image processing is proposed in the paper. The method allows identifying the problem using the criteria obtained through monitoring, and classifying the situation for further respond. The method is hybrid as it enables to find a solution using case-based approach but perform discrimination using rule-based approach.

An algorithm that allows determining the class of the most possible of the most dangerous situations by means of diagnosing the current situation using the criteria is proposed in the paper.

The well-known classes of possible situations are stored in the case base, which describes the diagnostic knowledge. The case structure includes a description of the current situation and the corresponding vector of the criteria.

The rule base contains a set of time limits for determining the classes of the similar situations and classifying the current situation with respect to its time characteristics as normal, critical, dangerous one, etc. The proposed diagnostic method allows not only to determine the class of the situation but also to classify the areas of terrain by danger level. It enables to visualize the current situation in the form of appropriate layers of geoinformation system representing the areas with critical, high, middle, low levels of danger.

The peculiarity of the proposed hybrid method of intelligent diagnosis of the situation is that in case of overflow of case base, some its part can be transformed into a form of rules, which allows to reduce the volume of the case base significantly. To this end, the approach where the cases are the points in Cartesian space of symptoms, while their neighborhoods are the sets of exceptions and constraints represented as rules in the rule base, is used.

The combination of the diagnostic method with the methods of remote sensing and approximate model of disaster behavior provides required credibility and efficiency of disaster prediction and response.

Надійшла до редакції 16.10.2018